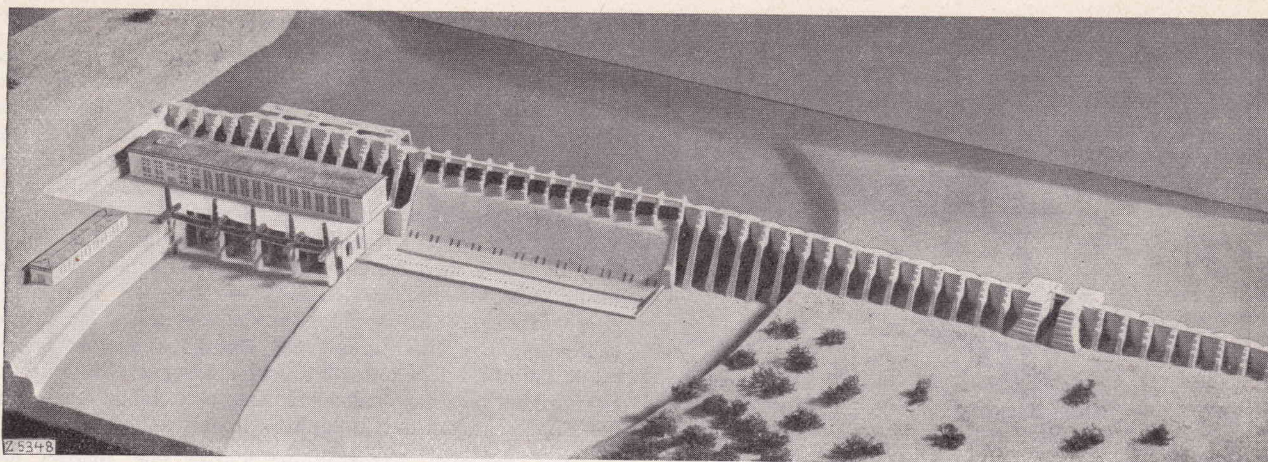


Gesamtansicht der fertigen Großwasserkraftanlage im Rio Negro (Modell).

Großwasserkraftanlage im Rio Negro in Uruguay

Baulicher Teil

Von Direktor Dr.-Ing. **M. Enzweiler**, Berlin

Die Großwasserkraftanlage im Rio Negro, die nach ihrer Fertigstellung im Jahre 1942 insgesamt bis zu rd. 530 Millionen kWh im Jahresdurchschnitt elektrische Arbeit abgeben wird, gehört zu den bemerkenswertesten Bauten, die gegenwärtig von deutschen Ingenieuren, deutschen Firmen und mit deutschen Geräten, Maschinen und Einrichtungen im Ausland ausgeführt werden. Im folgenden werden die baulichen Anlagen, insbesondere die als aufgelöste Mauer ausgeführte Talsperre, beschrieben; über umfangreiche Modellversuche und spannungsoptische Untersuchungen, die in Deutschland durchgeführt wurden, sowie ihren Einfluß auf die Gestaltung der wasserbaulichen Teile der Anlage wird berichtet. Die Bauausführung sowie die Einrichtungen der Baustelle und die Baugrubeneinfassung, die in verschiedener Hinsicht von den sonst üblichen Arten abweichen, werden besonders eingehend behandelt.

Vorgeschichte des Baues

Am 15. April 1937 wurde nach schwierigen Verhandlungen in dem südamerikanischen Staat Uruguay von den zuständigen Behörden einer deutschen Firmengemeinschaft[1]) die Errichtung einer Großwasserkraftanlage im Rio Negro übertragen. Diese Auftragserteilung ist der erfolgreiche Abschluß eines über 30 Jahre währenden Kampfes um die Errichtung eines Werkes, das in der Elektrifizierung Uruguays als Markstein bezeichnet werden kann.

Im Jahre 1905 wurde mit den ersten Vorarbeiten begonnen, damals unter Leitung einheimischer Ingenieure. Diese Arbeiten bezweckten mehr die Schiffbarmachung des Rio Negro. Im Jahre 1911 trat der Gedanke der Ausnutzung der Wasserkräfte des Rio Negro für Energiezwecke auf. Ein englischer Entwurf wurde ausgearbeitet, dessen Ausführung jedoch an dem bestehenden Staatsmonopol für die Elektrizitätsversorgung des Landes scheiterte. Fünfzehn Jahre später entstand ein französischer Vorentwurf, dessen Entwurfsgrundlagen jedoch als nicht ausreichend abgelehnt wurden. Inzwischen hatte sich ein staatlicher Studienausschuß in Uruguay gebildet, der den Plan nun nicht mehr aus der Betrachtung herausließ und im Jahre 1929 zur Erlangung baureifer Entwürfe und verbindlicher Kosten sechs ausländische Baufirmen aufforderte, an einem Ideenwettbewerb teilzunehmen. Der Wettbewerb ist ergebnislos verlaufen.

[1]) Die Firmengemeinschaft setzt sich zusammen aus einer Firmengruppe für den elektrischen und maschinellen Teil, und zwar: den Siemens-Schuckertwerken und der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft, Berlin, für den elektrischen, J. M. Voith, Heidenheim, für den maschinellen Teil, und einer Gruppe für den baulichen Teil, die von der Siemens-Bauunion, Berlin, und der Compania General de Obras Publicas (Geopé) in Buenos Aires gebildet wird. Bauherr ist der Staat Uruguay, vertreten durch die Generaldirektion der Staatlichen Elektrizitätswerke.

Zu dieser Zeit sicherte sich der erwähnte Studienausschuß zur Beratung die Mitarbeit eines in der Welt anerkannten Fachmannes. Die Wahl fiel auf Professor Dr.-Ing. *A. Ludin VDI* von der Technischen Hochschule Berlin. *Ludin* hat im Jahre 1933 in siebenmonatiger Arbeit auf Grund eingehender hydrologischer und geologischer Vorarbeiten einen neuen Entwurf aufgestellt. Dank der weitgehenden Unterstützung, die der Präsident des Landes, Dr. *Terra*, dem Gedanken der Wasserkraftausnutzung des Rio Negro angedeihen ließ, wurde trotz heftiger Gegnerschaft im Jahre 1934 auf Grund des Entwurfes *Ludin* eine erste öffentliche internationale Ausschreibung vorgenommen. Die Bedingungen für die am Wettbewerb Teilnehmenden waren in vieler Beziehung so hart, daß sich bei dieser Ausschreibung kein Unternehmen fand, ein Angebot abzugeben. Erst bei einer zweiten Ausschreibung gelang es der deutschen Firmengemeinschaft — in Wettbewerb mit den tschechischen Skoda-Werken in Pilsen — ein verbindliches Angebot zu machen, das den Beifall der uruguayischen Behörde gefunden hat. Dieses Angebot, das die harten Bedingungen der Ausschreibung ausschaltete, lehnte sich in technischer Beziehung an den Entwurf *Ludin* an. Der Auftrag wurde als Pauschalauftrag erteilt. Er umfaßt den gesamten baulichen, elektrischen und maschinellen Teil.

Die Stauanlage

Hydrologische Verhältnisse des Rio Negro

Der Rio Negro, Bild 1, hat eine Gesamtlänge von 850 km. Sein Quellgebiet liegt in Brasilien, jedoch nur mit einem ganz geringen Anteil seines Einzugsgebietes. Das Gesamt-Einzugsgebiet beträgt 68 000 km^2 und ist damit ungefähr so groß wie das Land Bayern und gleich

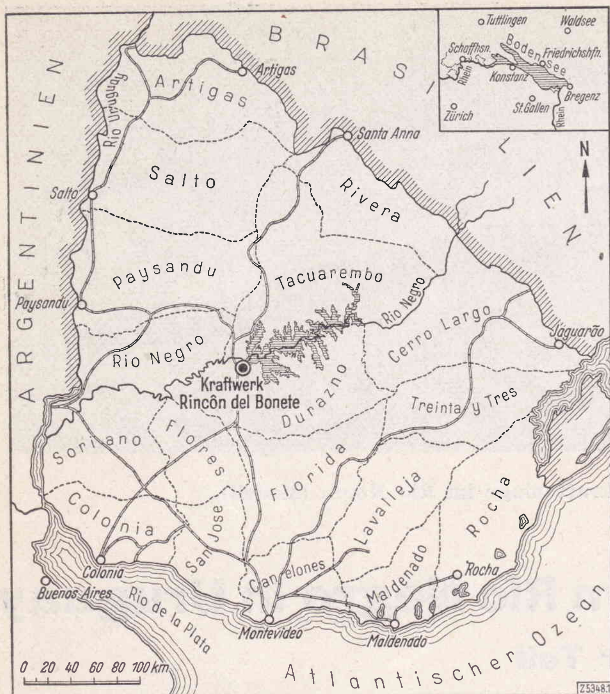


Bild 1. Der Rio Negro mit der Stauanlage beim Rincón del Bonete im Herzen des Staates Uruguay.

Zum Vergleich ist rechts oben das Gebiet des Bodensees, der die Hälfte der Staufläche des Rio Negro-Kraftwerkes umfaßt, in gleichem Maßstab eingezeichnet.

einem Drittel der Fläche des ganzen Landes Uruguay. Die Sperrstelle, die etwa 250 km von der Hauptstadt Uruguays, Montevideo, und damit vom Ozean entfernt ist, liegt bei dem Ort Paso de los Toros. Das Einzugsgebiet an der Sperrstelle umfaßt etwa die Hälfte des ganzen Einzugsgebietes.

Der gesamte Höhenunterschied der ganzen Flußlänge beträgt 130 m, im einzelnen wechselt der Fluß stark im Gefälle; an der Sperrstelle selbst ist das Gefälle verhältnismäßig gering, so daß ein großes Staubecken angelegt werden kann.

Die Wasserführung des Rio Negro ist starken Schwankungen unterworfen, wie auch der Niederschlag im Jahresverlauf sehr unregelmäßig ist. Die mittlere Wasserführung beträgt an der Sperrstelle 440 m^3/s und entspricht daher etwa der des Rheines unterhalb von Koblenz. Die niedrigste Wasserführung beträgt etwa 22 m^3/s, die höchste Hochwassermenge — abgesehen von einem Katastrophenhochwasser — etwa 5 400 m^3/s. Kennzeichnend für den Rio Negro ist der schnelle Übergang vom Niedrigwasser zum Hochwasser, der dadurch begünstigt wird, daß die Oberfläche des Einzugsgebietes frei von Wäldern ist; nur vereinzelte Äcker und wenig Bäume kennzeichnen die Landschaft. An der Sperrstelle wurde, seitdem der Bau begonnen hat, mehrfach ein Wasseranstieg um 7 m in 9 h beobachtet. Das ganze Gebiet kann klimatisch als subtropisches Binnenland angesprochen werden. In der kalten Jahreszeit betragen die Mitteltemperaturen 10°, in der warmen Jahreszeit 23°.

Im Staugebiet des Rio Negro ist eine nennenswerte Schiffahrt nicht vorhanden. Es werden allerdings durch die Schaffung des Stausees die Vorbedingungen für eine geordnete Schiffahrt geschaffen. Zu diesem Zweck ist auch bei der Stauanlage eine Schleuse vorgesehen, für die jedoch im Rahmen des Sperrmauerbaues zunächst nur ein Schleusenhaupt erbaut wird.

Die geologischen Verhältnisse

Die geologischen Voraussetzungen für die Errichtung einer Talsperre sind nicht sehr günstig, wodurch es vielleicht auch verständlich erscheint, daß der Plan bis zu seiner Verwirklichung viele Jahrzehnte brauchte. Der Gesteinsuntergrund im Rio-Negro-Becken bildet eine flache tektonische Mulde, Bild 2. Das kristallinische Grundgebirge tritt südlich der Sperrstelle sichtbar zutage. Über dem kristallinischen Grundgebirge liegen Grundmoräne und Sandsteine jüngerer Formationen und schließlich als jüngstes Glied der gleichen Formation eine große Anzahl übereinanderliegender Melaphyrschichten. Die Mächtigkeit des Melaphyr an der Sperrstelle ist mit 125 m unter Flußsohle festgestellt. Für die Standsicherheit der Talsperre kommen daher auch nur die Eigenschaften des Melaphyrs in Betracht.

Zur genauen Erforschung wurde vor Beginn der Arbeiten ein 33 m tiefer Probeschacht durch den Untergrund getrieben, in dem im wesentlichen drei Arten von Melaphyr festgestellt wurden: die oberste, rötlich-braune in einer Mächtigkeit von etwa 5 m und mit Hohlräumen, die mit Allophan ausgefüllt sind; die zweite Melaphyrdecke, von grauer Farbe, in einer Mächtigkeit von etwa 2 m, und schließlich die dritte aus sehr hartem, rotem Melaphyr mit von Kalkstein ausgefüllten Hohlräumen. Weiter unten fand sich schieferhaltiger Fels, abwechselnd mit verwittertem Gestein, das teilweise stark mit Rissen durchsetzt ist, die starken Wasseraustritt zeigten. Die Festigkeit der angetroffenen Schichten ist als ausreichend zu bezeichnen mit Ausnahme der obersten Melaphyrdecke, die nur 20 kg/cm^2 Druckfestigkeit besitzt.

Neben den Festigkeitsuntersuchungen sind ausgiebige Feststellungen über Wasserbeständigkeit und Wasserdurchlässigkeit der Melaphyrdecken vorgenommen worden. Auf Grund der Ermittlungen kann man schließen, daß die Wasserverluste infolge Durchlässigkeit des Untergrundes sich — selbst im ungünstigen Falle — im Staubecken in solchen Grenzen halten werden, daß eine wesentliche Beeinflussung des Wasserhaushaltes ausgeschlossen erscheint.

Mit Rücksicht auf diesen Untergrund ist in dem Entwurf *Ludin* von der Errichtung einer Schwergewichtsmauer Abstand genommen worden; vielmehr sah der Entwurf die Errichtung der Sperre in aufgelöster Bauweise oder als Steindamm vor. Bei der gewählten aufgelösten Sperre überschreitet die größte senkrechte Bodenpressung den Wert von 4 kg/cm^2 nicht, und auch die schräg gerichtete Hauptspannung geht nicht über den Wert von 6,2 kg/cm^2 hinaus.

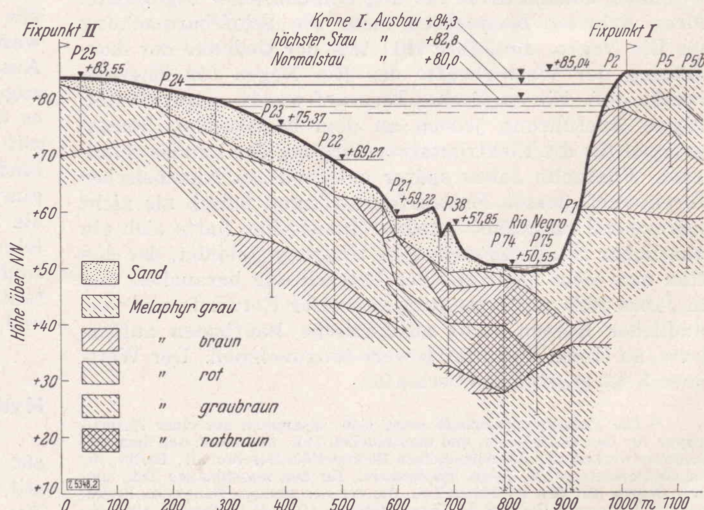


Bild 2. Zusammensetzung des Untergrundes an der Sperrstelle.

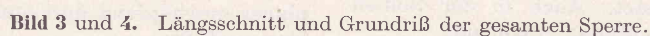


Bild 3 und 4. Längsschnitt und Grundriß der gesamten Sperre.

Bild 5. Querschnitt durch die aufgelöste Mauer (Nötzli-Mauer).

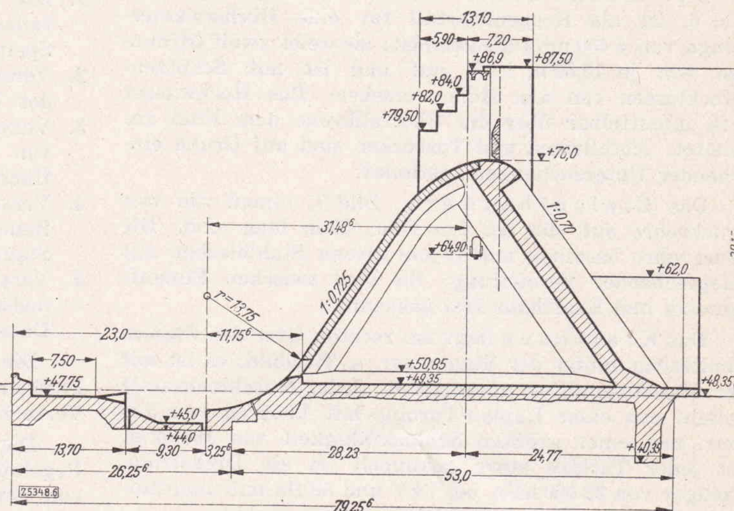


Bild 6. Querschnitt durch die Hochwasser-Entlastungsanlage.

Bild 7. Querschnitt durch Einlaufbauwerk und Krafthaus.

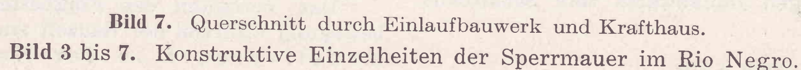


Bild 3 bis 7. Konstruktive Einzelheiten der Sperrmauer im Rio Negro.

Die Bauwerke

Die Sperre, Bild 3 und 4, hat die stattliche Gesamtlänge von rd. 1170 m und eine größte Höhe von rd. 40 m. Der Ausführung zugrundegelegt ist für den Hauptteil der eigentlichen Sperre eine aufgelöste Mauer, die sog. Nötzli-Mauer, Bild 5. Die Nötzli-Mauer besteht aus Eisenbeton-Strebepfeilern mit massiven Rundköpfen, s. a. Bild 30, die die Aufgabe haben, den Wasserdruck auf die Pfeiler zu übertragen, wobei nur Druckkräfte entstehen.

Die so ausgebildete Sperre zeigt im Grundriß drei Teile: Das Einlaufbauwerk mit Rohreinläufen für vier Maschinen, ferner den nicht überströmten Rundkopfteil und schließlich den Hochwasserüberfall. Die Rundköpfe sind durch Dehnungsfugen im Abstand von 12,50 m voneinander getrennt. Die Strebepfeiler, auf die die Kräfte übertragen werden, sind 2 m stark und auf einer Eisenbetonplatte gegründet, die eine gleichmäßige Belastung des Untergrundes gewährleistet. Auch in der Sohlenplatte sind verzahnte Dehnungsfugen eingebaut.

Die Hochwasser-Entlastungsanlage, Bild 6, ist als Kronenüberfall für eine Höchstwassermenge von 4 450 m³/s ausgebildet; sie weist zwölf Öffnungen von je 10,50 m l. W. auf und ist mit Schützenverschlüssen von 5 m Höhe versehen. Das Hochwasser wird unmittelbar über die Überfallkrone dem Fluß zugeleitet. Abfallwand und Tosbecken sind auf Grund eingehender Untersuchungen bestimmt.

Das Einlaufbauwerk, Bild 7, nimmt die vier Druckrohre auf, die bei 7 m Dmr. 42 m lang sind. Die Druckrohre bestehen aus 19 mm dicken Stahlblechen mit entsprechender Versteifung. Sie sind zwischen Einlaufbauwerk und Krafthaus frei gespannt.

Das Krafthaus liegt am rechten Ufer des Flusses unmittelbar hinter der Staumauer, s. Titelbild; es ist mit vier Maschinensätzen ausgerüstet. Jeder Maschinensatz[2]) besteht aus einer Kaplan-Turbine mit Laufrad von 5 m Dmr. und einer größten Schluckfähigkeit von 160 m³/s; mit jeder Turbine starr gekuppelt ist ein Drehstromerzeuger von 32 000 kVA bei 7 kV und 50 Hz mit unmittelbar aufgebauter Haupt- und Hilfserregermaschine.

Der Krafthausunterbau ist als Eisenbetonblock ausgebildet. Zur Übertragung der großen Stromerzeugerlasten dient ein eiserner Stützring. Dadurch ist es möglich geworden, den Zusammenbau erheblich zu vereinfachen und gleichzeitig die schweren Deckenkonstruktionen, die sonst erforderlich sind, um die Stromerzeugerlasten aufzunehmen, und wie wir sie bei früheren Ausführungen von Krafthäusern kennen, zu vermeiden.

Der Krafthaus-Hochbau soll als Stahlskelettbau ausgeführt werden. Krafthaus und Schalthaus werden architektonisch in einem einheitlichen Pfeilerbau zusammengefaßt. Die fertige Gesamtanlage im Modellbild zeigt das Titelbild.

Die Stromerzeuger arbeiten unmittelbar auf Dreiwicklungs-Umspanner von 32/32/10 MVA bei 7/170/6,3 kV, die auf einer Freiluftplattform auf der Unterwasserseite des Krafthauses untergebracht sind. Zwei 170 kV-Freileitungen mit Kupferhohlseilen von 150 mm² Querschnitt übertragen den Strom zum Unterverteilwerk in Montevideo auf eine Entfernung von etwa 260 km.

Auf der 6,3 kV-Seite der Dreiwicklungs-Umspanner wird eine Einfach-Sammelschiene gespeist, von der der Energiebedarf für die Eigenbetriebe über zwei Umspanner von je 6 300/380 V abgenommen wird; außerdem soll von ihr über zwei Umspanner von je 10 MVA mit 6,3/63 kV das zukünftige Landesnetz von Uruguay beliefert werden. Für die entsprechende Schaltanlage für 63 kV wird in einem Ausschnitt des Hanges unterhalb des Kraftwerkes eine Anlage geschaffen, die mit den abgehenden Landesleitungen flußabwärts vom Schalthaus liegt.

[2]) Vgl. a. Z. VDI Bd. 82 (1938) S. 772.

Vorarbeiten für die Bauausführung

Zur einwandfreien Durchführung des Baues sind umfangreiche Vorarbeiten geleistet worden, die sich auf Modellversuche zur Bestimmung der einzelnen Bauteile im wasserbaulichen Teil, Gesteinuntersuchungen zur Bestimmung der Gründungsverhältnisse und Betonuntersuchungen zur Bestimmung von Wasserdichtigkeit und Druckfestigkeit des zu verwendenden Baustoffes erstreckten.

Die Modellversuche bezweckten, die Gestaltung derjenigen Teile der Bauanlagen, die einer genauen Berechnung nicht zugänglich sind, im Wege wasserbaulicher Versuche festzulegen sowie gewisse schwer zu verfolgende Spannungen im Bauwerke im Wege optischer Messungen zu ermitteln.

Die wasserbaulichen Versuche sind in der Preußischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Berlin, auf Grund eines genauen Versuchsplanes erschöpfend durchgeführt worden. Der Versuchsplan umfaßte:

1. Die Bestimmung der Leistungsfähigkeit des Überfalles und der Form des Überfallstrahles an der Sperre,
2. Versuche zur Ermittlung der zweckmäßigsten Form des Tosbeckens,
3. Versuche zur Ermittlung der günstigsten Anordnung von Ausgleichschlitzen in der Abschlußdecke des Überfalles,
4. Versuche über die Leistungsfähigkeit der während des Baues notwendigen behelfsmäßigen Durchlässe in der Staumauer und
5. Versuche über die Veränderung des Flußbettes und insbesondere die Geschiebebewegung während der Dauer der Ausführung.

Die Versuche 1. bis 3. wurden im Modellmaßstab 1 : 30 in der Versuchsanstalt mit Hilfe einer 83 cm breiten Versuchsrinne durchgeführt, Bild 8.

Die Versuchsergebnisse wurden durch unmittelbare Pegelablesungen festgehalten, während die Aufnahme von Strömungsbildern im Film durch den Einbau von Glasscheiben an der Rinnenwand ermöglicht wurde. Das Ergebnis lieferte die geeignete Form des Überfallstrahles durch Ermittlung von Überfallbeiwerten und führte zur Festlegung der Wasserspiegelhöhen für verschiedene Wassermengen in der Stauwandebene.



Bild 8. 83 cm breite Versuchsrinne zur Ermittlung der zweckmäßigsten Form von Überfall und Tosbecken.
Preußische Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin

Die geeignete Form des Tosbeckens wurde auf Grund von Untersuchungen an 25 verschiedenen Tosbeckenformen auf der Grundlage einer größten Überfallmenge von 5 000 m³/s ermittelt. Sie wurde sowohl hinsichtlich ihrer Längenausdehnung als auch ihrer Energievernichtungseinrichtungen festgelegt.

Die Versuche zur Feststellung der Leistungsfähigkeit der behelfsmäßigen Öffnungen während des Baues wurden in einem Modellausschnitt von 1½ Öffnungen mit Wassermengen durchgeführt, die einem Gesamtdurchfluß von 2 600 m³ entsprechen.

Das Verhalten des Flußbettes und die Geschiebebewegung während der Bauzeit sind durch einen Großmodellversuch in der Natur geklärt worden.

Auf dem Freigelände der Versuchsanstalt in Marquardt bei Berlin wurde im kleinen der Rio-Negro-Fluß nachgeahmt. Als Geschiebestoff wurde, um einen leicht beweglichen Stoff zu erhalten, Grus von Braunpreßkohle verwandt. Zunächst wurde festgestellt, wie sich beim Einbau des Fangedammes die Gefälle bei verschiedenen Wassermengen gestalten; als Zeitmaßstab wurde dabei 1 Tag = 1 min gewählt, so daß das Jahr in 6 h ablief. Bild 9 veranschaulicht diesen Modellversuch. In dem Bauzustand *I*, den das Bild darstellt, sind zwei Modelljahre beobachtet, in denen besonders große und besonders kleine Wassermengen abflossen; als höchstes Hochwasser wurde eine 5 000 m³/s entsprechende Menge zum Abfluß gebracht. Zur Verdeutlichung der Ergebnisse wurden die Höhenlinien der Wasserstände durch Wollfäden festgelegt; die Bewegungen wurden durch photographische Aufnahmen, senkrecht auf das Modell zu, festgehalten. Es ergaben sich weitgehende Aufschlüsse über die Geschiebebewegung und die Bildung von Sandbänken im ersten und zweiten Bauabschnitt. Die Feststellungen stimmten gut überein mit den später während der Ausführung eingetretenen Veränderungen.



Bild 9. Modellversuch in Marquardt.
Preußische Versuchanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin
Bauabschnitt *I* vom Unterwasser gesehen, nach einem Niedrigwasserjahr

Die Spannungsuntersuchungen, soweit sie der Berechnung schwer zugänglich sind, wurden durch Versuche im Mechanisch-Technischen Laboratorium der Technischen Hochschule München im Wege des spannungsoptischen Verfahrens[3]) durchgeführt, und zwar wurde besonders ein Staumauerquerschnitt senkrecht zur wasserseitigen Kante des Pfeilers untersucht, wobei vor allem auch die Beanspruchungen an den scharfen Ecken beim Übergang vom Kopf zum Steg behandelt wurden. Die an einem aus einer Trolonplatte hergestellten Modell des Staumauerquerschnittes, Bild 10, durchgeführten Messungen zeigten, daß man durch Abänderung des Überganges vom Kopf zum Steg, Bild 11 und 12, die größte Kantenspannung fast um die Hälfte herabsetzen konnte. Aus den weiteren Modellversuchen ergab sich, daß im ganzen Steg im wesentlichen nur Druckspannungen vorhanden waren. Auch die Schwindspannungen sind auf optischem Wege ermittelt worden.

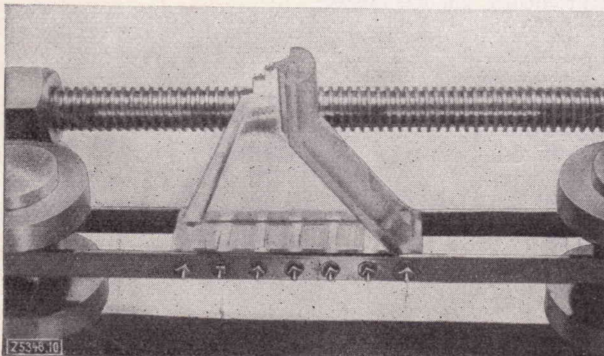


Bild 10. Modell aus Trolon für spannungsoptische Untersuchungen des Staumauerquerschnittes.

Die Bauausführung

Allgemeine Baustelleneinrichtung

Zur Durchführung des übernommenen Gesamtauftrages durch die eingangs erwähnte deutsche Firmengemeinschaft ist eine Zentralstelle in Berlin errichtet worden, in der die entscheidenden großen Linien für die Abwicklung des Auftrages festgelegt werden. Diese

[3]) Über das spannungsoptische Verfahren vgl. z. B. *L. Föppl*, Z. VDI Bd. 81 (1937) S. 137/41 und Z. VDI Bd. 82 (1938) S. 1119/20.

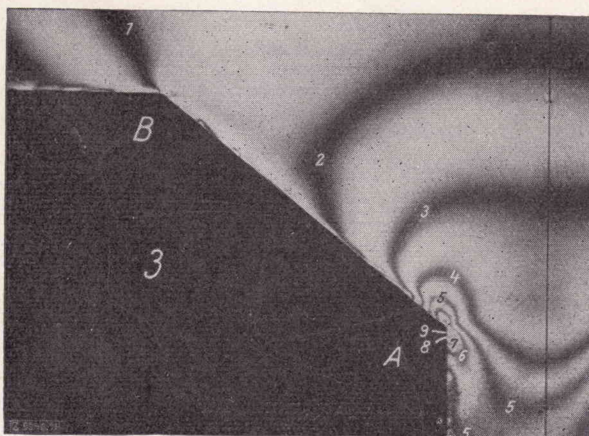


Bild 11. Ursprüngliche Form mit ungünstigem Spannungsverlauf am Übergang zwischen Kopf und Steg, Punkt *A*.

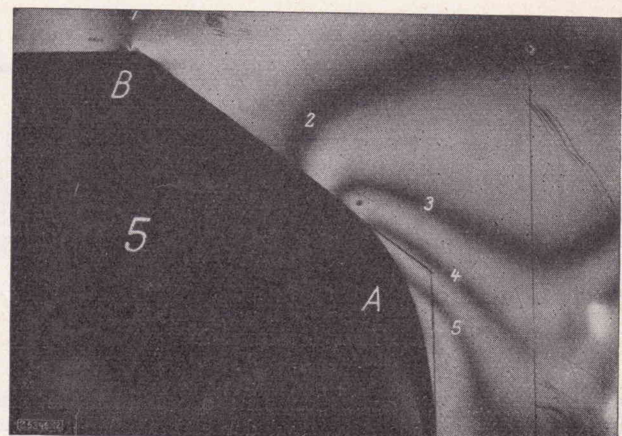


Bild 12. Auf Grund der Untersuchungen geänderte Form mit günstigem Spannungsverlauf bei *A*.

Bild 11 und 12. Spannungsoptische Aufnahmen der Linien gleicher Hauptschubspannungen.

Bild 13. Allgemeine Baustelleneinrichtung am Rio Negro.

Bild 14 bis 17. Lageplan und Einzelheiten der Betonaufbereitungsanlage.

Stelle arbeitet mit zwei Gruppen: der Baugruppe mit ihrem Sitz in Buenos Aires und der elektrischen Gruppe mit ihrem Sitz in Berlin. Als Sprecher der Firmengemeinschaft in Verhandlungen mit der Behörde ist ein in Montevideo eingesetzter Vertreter für die gesamte Firmengemeinschaft bestellt.

Nach dem Arbeitsprogramm für die Bauausführung des Stauwerkes wurde am 1. September 1937 mit dem Bau begonnen; die Bauzeit für die vollständige betriebsfertige Erstellung der Anlage soll 56 Monate, d. h. bis Ende April 1942, dauern. Als Vorbereitungsarbeit war die Herrichtung der vorhandenen schlechten Straße für



Bild 18. Blick auf die Brech- und Mahlanlage.
Im Vordergrund die Lagerhalde mit Zumeßeinrichtung und Abzugsband

die ersten Beförderungen erforderlich. Während dieser Zeit wurde eine Bahnlinie, vom Bahnpunkt Paso de los Toros ausgehend, zur Baustelle in einer Länge von 12 km gebaut und im Dezember 1937 in Betrieb genommen.

Die allgemeine Baustelleneinrichtung, die auf dem rechten Flußufer untergebracht wurde, Bild 13, umfaßt eine Angestellten- und Arbeitersiedlung für die beim Bau beschäftigten insgesamt etwa 3 000 Personen. Die Siedlung ist mit allen erforderlichen gesundheitlichen Einrichtungen, mit Krankenhaus, Trinkwasserversorgung usw. ausgerüstet. Für die Versorgung der Baustelle mit Strom während des Baues ist ein Baukraftwerk von insgesamt 3 000 PS errichtet. Zur allgemeinen Baueinrichtung zählt ferner die Errichtung einer voll ausgerüsteten Hauptwerkstatt, einer Zimmerei mit allen erforderlichen Einrichtungen, der Eisenbiegerei usw.

Steinbruch

Unter den besonderen Einrichtungen der Baustelle ist in erster Linie der Steinbruch zu erwähnen, der, etwa 1½ km von der Sperrstelle entfernt, zur Gewinnung der Zuschlagstoffe für den Beton eingerichtet wurde. Er ist mit mehreren Dampflöffelbaggern von 2,75 m³ Löffelinhalt, mit den entsprechenden Druckluft-Bohrhämmern und Verdichtern ausgerüstet. Die Weiterbeförderung des ausgesprengten Gesteins zur Betonaufbereitungsanlage besorgen Dampflokomotiven auf Gleis mit 900 mm-Spur.

Betonaufbereitung

Die Betonaufbereitungsanlage, Bild 14 bis 17, ist für das Bauwerk die Seele des gesamten Betriebes; sie besteht 1. aus einer Brech- und Mahlanlage mit Wasch- und Sortiereinrichtungen, Bild 18, 2. den entsprechenden Silos mit Bandförderanlagen, 3. der Flußsandgewinnung und deren Sortiereinrichtungen, 4. der Zementumschlaganlage und schließlich 5. den Mischanlagen mit Zumeßeinrichtungen und Beschickvorrichtungen.

Brech- und Mahlanlage. Die Zuschlagstoffe gelangen aus dem Steinbruch zu einem Vorbrecher, s. Bild 14 bis 17, der als Backenbrecher mit einer Maulweite von 1 300 mm × 1 100 mm ausgebildet ist. Ein Ersatz für diesen Großbrecher ist nicht vorgesehen. Beschickt wird der Vorbrecher durch einen Stangenförderrost, der mit einem kleinen Aufgabesilo gekuppelt ist, so daß auch größere Steine einwandfrei vom Brecher gefaßt werden. Über dem Vorbrecher und dem Stangenrost ist ein fahrbarer Laufkran von 10 t Tragkraft für Einbau und Instandsetzung angeordnet. Das vorzerkleinerte Gestein gleitet über eine verstellbare Rutsche zu einem Förderband, das an dem Ausgleichsilo der Nachbrecheranlage endet.

Zwei Aufgabeapparate geben das vorgebrochene Gestein den zwei Nachbrechern mit einer Maulweite von 1 000 mm × 600 mm auf. Im Falle eines Stilliegens der Vorbrechanlage können die Züge auch unmittelbar über eine zweite Zuschlagstoff-Aufgabe in die Nachbrechanlage arbeiten.

Von den Nachbrechern werden die Zuschlagstoffe mit Förderbändern zur Waschanlage gefördert. Zwei Waschmaschinen von 2 m Dmr. und 7 m Trommellänge nehmen das zum Teil verschmutzte Melaphyrgestein auf; soweit die Zuschlagstoffe keiner Reinigung bedürfen, werden sie unmittelbar ohne Berührung der Waschanlage zur Siebanlage gebracht, wo sie mit den gewaschenen Zuschlägen aus den Waschtrommeln zusammenkommen. Es sind zwei Schnellsiebe eingebaut, die drei verschiedene Körnungen aussieben: von 0 bis 7 mm, von 7 bis 15 mm, 16 bis 60 mm und den Überlauf über 60 mm. Die Körnung 0 bis 7 mm gelangt in den Sandsilo, nachdem sie durch zwei Entwässerungsschnecken hindurchgegangen ist; das Schmutzwasser wird am unteren Teil der Schnecken abgeleitet. Die übrigen Körnungen fallen in die dazugehörigen Silos, wie in Bild 14 bis 17 dargestellt.

Der zweite Teil der Brech- und Mahlanlage besteht aus der Feinbrechanlage. Das überlaufende Gestein über 60 mm gelangt in ein Überlaufsilo und von dort an drei Feinbrecher mit einer Maulweite von 1 000 mm × 120 mm. Die Körnung 0 bis 25 mm wird abgesiebt in einem einstufigen Schnellsieb, das größere

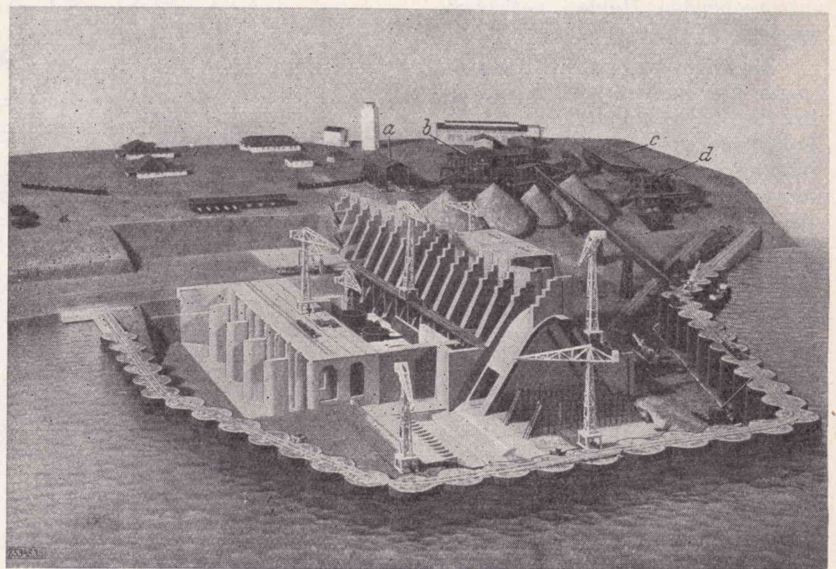


Bild 19. Modellaufnahme der Baustelle am Rio Negro mit der Betonaufbereitungsanlage.

a Vorbrechanlage *b* Brech- und Mahlanlage
c Zementschuppen *d* Betonmischanlage mit Zumeßeinrichtung

Gestein durchläuft ein Großwalzwerk von 1 m Dmr. und 800 mm Breite und wird ebenfalls der Waschanlage zugeleitet.

Lagerung der Zuschlagstoffe. Aus der Brech- und Mahlanlage gelangen die aufbereiteten Zuschläge in Vorratslager, die mit Hilfe einer besonderen Bandförderanlage beschickt werden. Insgesamt sind fünf Förderbänder angeordnet, die die drei Körnungen getrennt dem Vorratslager zuführen.

Um bei dem Ausfall des einen oder anderen Teiles der Aufbereitungsanlage, deren einzelne Teile auch aus der Modellaufnahme, Bild 19, zu ersehen sind, den Betonierungsbetrieb aufrecht zu erhalten, sind größere Mengen Zuschlagstoffe in einer Lagerhalde mit Zumeßeinrichtung vorrätig gelagert, und zwar:

Schotter	Körnung 15 bis 60 mm	2 700 m³,
Splitt	Körnung 7 bis 15 mm	2 700 m³,
Steinsand	Körnung 0 bis 7 mm	700 m³,
Flußsand	. . . .	2 800 m³.

Unter der Halde ist ein Stollen eingebaut, in dem ein Abzugsband die abgezogenen Zuschlagstoffe aufnimmt und sie zu den Bunkern der Zumeßanlage fördert. Unter den Bunkern sind die Zumeßapparate angeordnet; sie geben — je nach dem Mischungsverhältnis — die drei Zuschlagstoffkörnungen, in richtigem Verhältnis zueinander abgemessen, auf ein Band ab, das sie dem Ausgleichsilo der Betonmischanlage zuführt. Die Zumeßgeräte werden durch einen Druckknopfschalter von der Mischmaschine aus betätigt, wo auch die abgegebenen Mengen durch ein Stoßzählgerät aufgezeichnet werden.

Flußsandsortieranlage. Ein Saugbagger entnimmt den Sand aus dem Rio Negro, der dann mit Schuten an den Fangedamm gebracht, mittels Dieselgreifers entladen und über ein Ausgleichsilo und ein Förderband zu einem hochgelegenen Schnellsieb gefördert wird. Das zweistufige Schnellsieb ist mit Abspritzvorrichtung und Siebgewebe für Maschenweiten von 7 bis 15 mm ausgerüstet. Der Sand von 0 bis 7 mm gelangt über zwei Entwässerungsschnecken in den Sandsilo und von da über ein Förderband in die Halde, während die Körnungen 7 bis 15 und 15 bis 60 mm gemeinsam mit den von der Waschanlage kommenden Zuschlägen auf die entsprechenden Halden gefördert werden.

Zementumschlaganlage. Der Zement wird in Säcken mit der Bahn angeliefert und im Zementschuppen gestapelt. Im Schuppen sind drei Förderschnekken angeordnet, in deren Trichter die Säcke entleert werden. Die Schnecken fördern das Bindemittel in den Ausgleichsilo der Mischanlage.

Betonmischanlage. Unter dem Ausgleichsilo, der die Zuschlagstoffe von der Zumeßanlage und über die Schnecken den Zement aufnimmt, befindet sich die selbsttätige Zementwaage, die das Bindemittel nach dem gewünschten Mischungsverhältnis abwiegt und es an den Vorsilo der Mischmaschine abgibt. Auch die Zuschlagstoffe werden aus dem Ausgleichsilo über eine Hosenrutsche den beiden Vorsilos zugeführt. Von hier gelangt das Gemisch in die Trommeln der beiden je 1 500 l fassenden Mischmaschinen. Das Mischgut wird über je einen Ausgleichsilo an die auf Plattformwagen unter die Rutschen gestellten Betonkübel abgegeben.

Die gesamte Aufbereitungsanlage, die von der Internationalen Baumaschinenfabrik A.-G. (Ibag), Neustadt a. d. Weinstraße, geliefert wurde, ist, wie dargelegt, in weitestem Maße auf Bandförderung eingestellt. Sie ist für eine mittlere Leistung von 90 m³/h eingerichtet.

Die Baustelleneinrichtung am linken Flußufer besteht im wesentlichen aus der zweiten Betonieranlage und einigen Hilfseinrichtungen. Die Zuschlagstoffe und Bindemittel werden von der auf dem rechten Ufer errichteten oben beschriebenen Anlage mit Hilfe einer Seilbahn der zweiten Betonieranlage zugeführt.

Fangedämme

Einer der wichtigsten Teile für die Baueinrichtung im Wasserbau ist der Fangedamm. Eine ganz besondere Bedeutung fällt dem Fangedamm zu, wenn, wie im vorliegenden Falle, mit der Möglichkeit seiner Überflutung während der Hochwasserzeiten gerechnet werden muß. Die Anforderungen an die Standfestigkeit und die Wasserdichtigkeit sind in diesem Falle außerordentlich hoch. Es wurde daher der Spundwandzellen-Fangedamm gewählt, wie er in den letzten Jahren erfolgreich in Nordamerika bei den dortigen großen Wasserbauten Verwendung findet[4]). Damit der Durchfluß jederzeit aufrecht erhalten wird, ist die Ausführung des Stauwerkes in zwei Abschnitten erforderlich; der erste Abschnitt reicht, wie aus Bild 20 zu erkennen ist, so weit in das Flußbett hinein, daß der Flußlauf nach dem linken Ufer abgedrängt wird.

Im ersten Abschnitt, der insgesamt eine Baudauer von 24 Monaten umfaßt, werden gleichzeitig das Krafthaus, das Einlaufbauwerk und ein Teil der Hochwasser-Überfallanlage hergestellt. Im Schutze des Fangedammes wird dann im Trocknen ein Reiterfangedamm eingebaut, der als Kopffangedamm für den zweiten Bauabschnitt notwendig ist. In Bild 20 ist der Abschnitt *II* gestrichelt eingezeichnet. Der mit *I a* bezeichnete Unterabschnitt dient lediglich dem Zwecke der Vertiefung der Flußsohle im

[4]) Vgl. a. *G. Garbotz* u. *T. von Rothe*, Z. VDI Bd. 82 (1938) S. 1051/54.

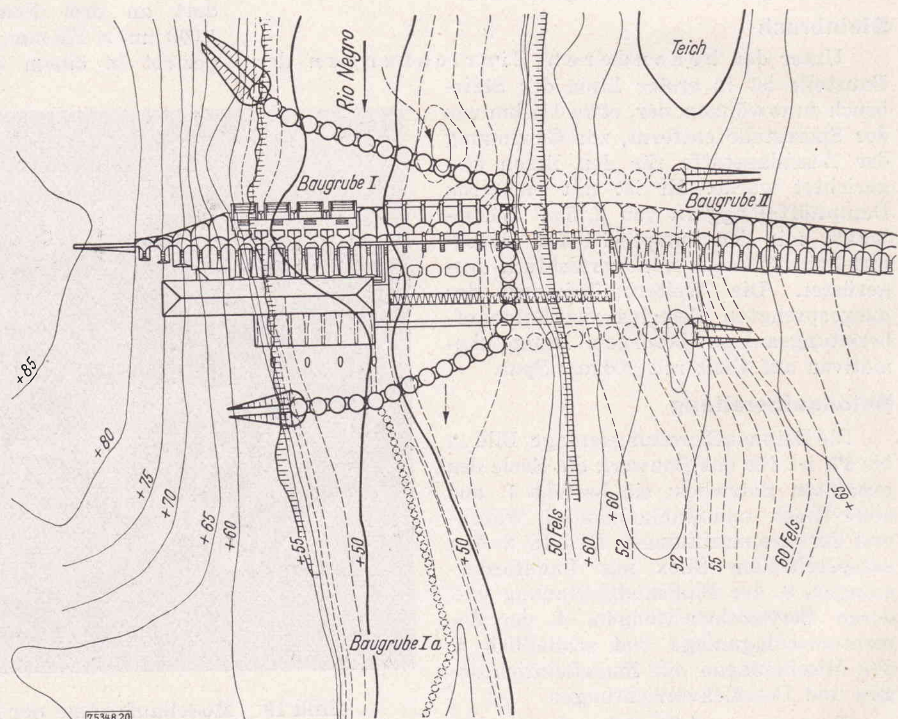


Bild 20. Lage des Fangedammes innerhalb der Baustelle.
Die gestrichelten Linien zeigen die Lage des Fangedammes im Bauabschnitt *II*.

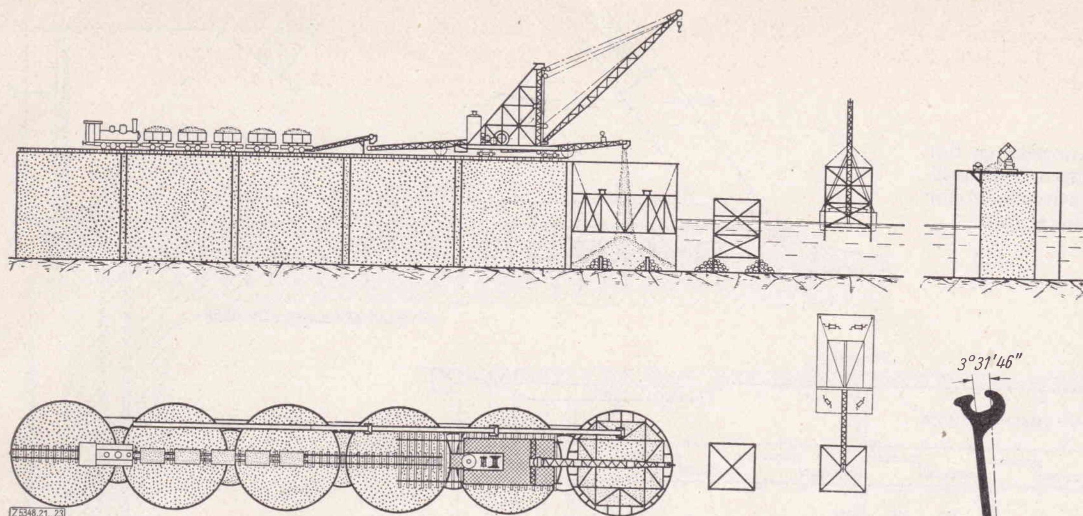


Bild 21 bis 23. Aufbau des Spundwandzellen-Fangedammes.

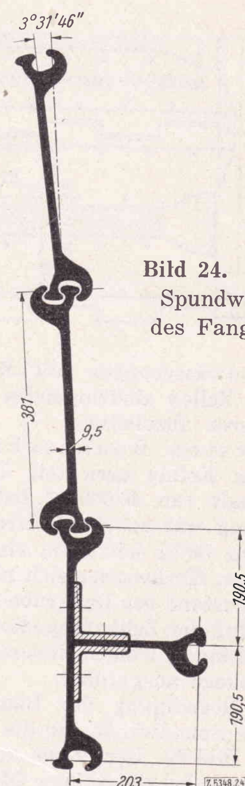


Bild 24. Profil des Spundwandeisens des Fangedammes.

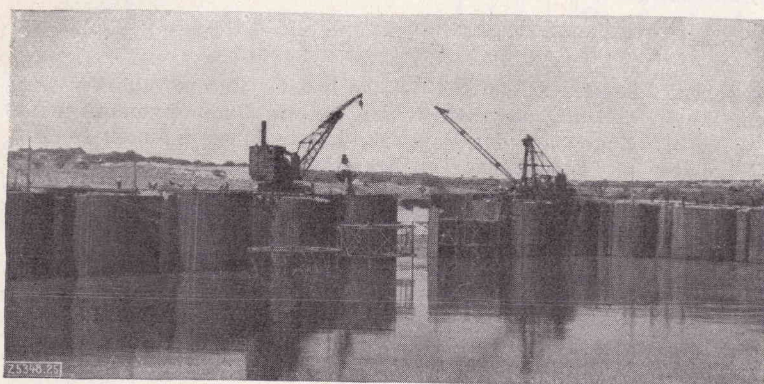


Bild 25. Der Zellenfangedamm kurz vor dem Schließen.



Bild 26. Baugrube *I* nach der Trockenlegung mit Schrägaufzug und Gleisanlage sowie Gleisen auf dem Fangedamm.

Unterlauf hinter dem Krafthaus; ihm kommt sonst nur geringere Bedeutung zu. Daher konnte auch seine Höhe erheblich geringer bemessen werden.

Der Zellenfangedamm besteht aus Zylindern aus Stahlspundwandeisen, die auf den Felsgrund aufgesetzt werden, Bild 21 bis 23. Die Zylinder erhalten 12,50 m Dmr., ihre Höhe ist etwa gleich groß. Zur Verbindung der Zylinder untereinander werden einige Spundbohlen als Segmentbogen miteingesetzt, die an die zylindrischen Zellen mit Sondereisen angeschlossen werden. Das Profil des Spundwandeisens ist in Bild 24 dargestellt. Die Berechnung des Zellenfangedammes ergibt eine erhebliche Zugbeanspruchung in den Schlössern. Es mußten deshalb amerikanische Profile verwendet werden, die für diese Fangedammbauart konstruiert sind.

Hergestellt werden die Fangedämme unter Verwendung kreisrunder Führungsgerüste, Bild 21 bis 23, die mit Hilfe eines Kranes vorher in den Fluß versenkt werden. Das Aufsetzen der Spundwandeisen und Einfädeln wird für die ersten Zylinder mit Schwimmkranen durchgeführt, für die weiteren mit Kranen oder Dampfhämmern, die auf den vorher fertiggestellten Zellen laufen. Das Einsetzen derartiger Zellen ist denkbar einfach: Weder Bohrungen im Fluß noch Sprengungen sind erforderlich. Die Konstruktion paßt sich elastisch den Ungenauigkeiten des Untergrundes an. Bild 25 zeigt den Zellenfangedamm kurz vor seiner Vollendung. Sobald der Fangedamm geschlossen ist, wird der Spundwandfuß zur erhöhten Sicherheit gegen Wasserdurchlässigkeit durch einen Betonriegel gegen die Flußsohle abgedichtet. Dann werden die Zylinder mit Boden verfüllt. Innerhalb der Fangedammzellen

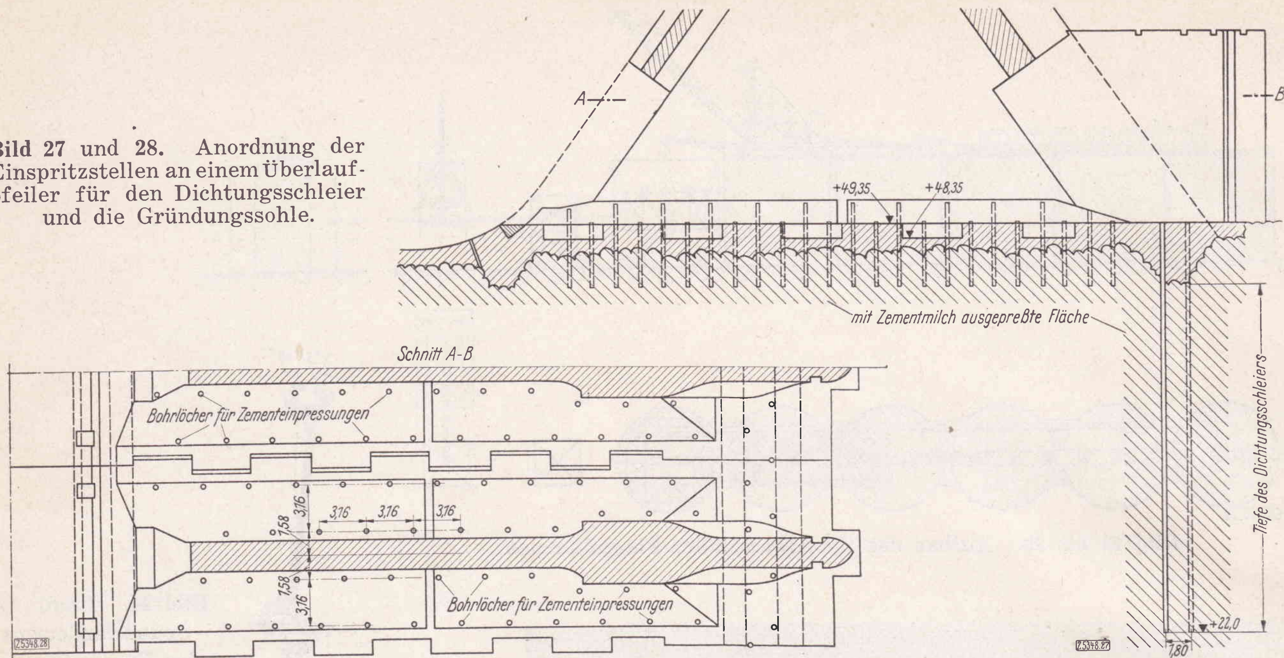


Bild 27 und 28. Anordnung der Einspritzstellen an einem Überlaufpfeiler für den Dichtungsschleier und die Gründungssohle.

werden Entwässerungen mit Sickerlöchern vorgesehen, um in die Zellen eindringendes Wasser nach dem Baugrubeninneren abzuleiten.

Im ersten Bauabschnitt wurden 37 Zellen mit bestem Erfolg errichtet. Die Baugrube, die einen Flächeninhalt von 40 000 m² hatte, wurde leergepumpt; die Dichtung war so einwandfrei, daß die Sickerwassermengen nur 30 l/s betrugen, eine Menge, die auch nach eintretendem Hochwasser sich nicht vergrößerte. Bild 26 zeigt den Zustand der Baugrube nach Trockenlegung. Der Uferanschluß der Zellenfangedämme wurde in Form einer Steinschüttung mit einem inneren, wasserundurchlässigen Eisenbetonkern ausgeführt.

Nach Beendigung der Bauarbeiten in der Grube *I* werden die Spundwände für die Baugrube *II* wieder verwendet, s. Bild 20. Der Strom nimmt in dieser Zeit seinen Abfluß durch behelfsmäßige Öffnungen, die in den Rundköpfen des Hochwasserüberfalles angeordnet sind. Nach Beendigung des Abschnittes *II* müssen diese behelfsmäßigen Öffnungen geschlossen werden. Diese Arbeit geschieht bereits im Zustand des Anstauens unter Zuhilfenahme von Dammbalkenverschlüssen, da dann ein Abfluß im Rio Negro nicht erfolgen kann.

Erd- und Felsaushub

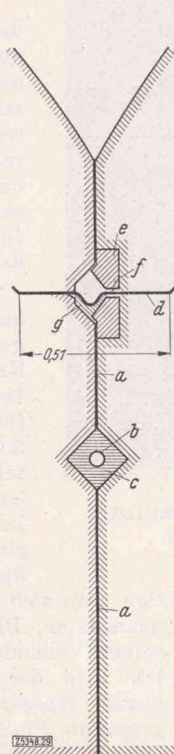
Insgesamt sind für die Errichtung des Stauwerkes 280 000 m³ Aushub, größtenteils Fels, zu beseitigen. Der Aushub wird mit drei Löffelbaggern bewältigt, nachdem der Boden vorher unter Einsatz von Drucklufthämmern und Aufbruchhämmern, die von fünf Verdichtern gespeist werden, gelöst wird. Die Förderung der gebrochenen Felsstücke erfolgt auf 900 mm-Spur-Gleis mit Dampflokomotiven und Holzkastenkippern. Zur Überwindung des Höhenunterschiedes zwischen der Baugrubensohle und der hochgelegenen Felsklippe ist ein Schrägaufzug mit umlaufender Kette eingebaut, der einen Höhenunterschied von 15 m überwindet. Außer diesem Schrägaufzug ist auf dem Fangedamm selbst ein Greifer aufgestellt, der den Aushub unmittelbar in die Kippwagen der Förderzüge ladet. Schließlich ist noch eine Rampe üblicher Ausführung angeordnet, auf der die Dampflokomotiven mit Zügen aus der Baugrube herausfahren können.

Ein kleiner Teil des gebrochenen Felsens konnte für Betonierungszwecke verwendet werden. Dieser Teil wird zur Brech- und Mahlanlage geleitet, während der Rest auf der Oberwasserseite abgelagert wird.

Für die Gründung der Staumauer wird im Fels eine Verzahnung angebracht, wobei die natürliche Struktur des Felsens in erster Linie ausgenutzt wird.

Untergrunddichtung

Wie bei allen Talsperren üblich, ist auf eine besonders gute Dichtung des Untergrundes unterhalb der Bauwerkssohle besonderer Wert gelegt worden. Es sind hier zwei Arten von Dichtungsarbeiten zu unterscheiden:



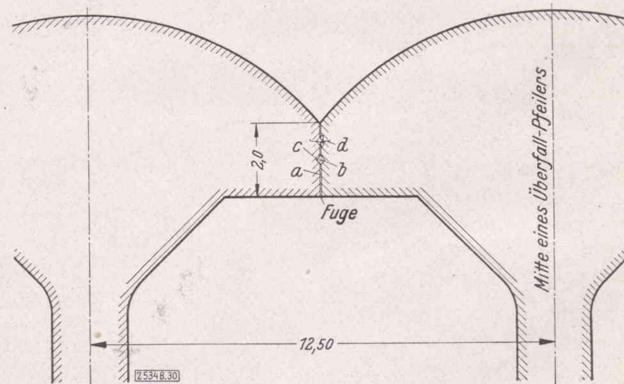


Bild 30. Waagerechter Schnitt durch die Rundköpfe mit Dehnungsfuge.

Bild 29 und 30. Dehnungsfugen zwischen den Rundköpfen der Überfallpfeiler.

a Fiberholztafeln
b Eisenblech- oder Aluminiumblech-Rohr
c Ausfüllung mit plastischem Asphalt
d Kupferblech 2 mm dick, 0,6 m breit
e Betonblock
f Asphaltanstrich
g Ausfüllung mit plastischem Asphalt

Bild 29 (links). Dehnungsfuge mit Abdichtung.

1. die Zementeinpressungen unter die Gründungsplatte in die obere Felsschicht bis zu einer Tiefe von 3 m unter Sohle,
2. die Bildung eines Dichtungsschleiers, der bis 25 m tief unter Bauwerksohle heruntergetrieben wird.

Die obere Dichtung bringt die stärker zerklüfteten Bodenschichten, die im übrigen auch durch die Sprengarbeiten in Mitleidenschaft gezogen werden, durch die Zementeinpressungen in wasserdichten und standfesten Verband. Da jedoch bei der Nötzli-Mauer die Gründungsplatte keinen Auftrieb erleiden soll, muß die abdichtende Wirkung der Zementeinpressung im Bereich der Gründungsplatte durch nachträgliche Bohrungen aufgehoben werden. Nach Fertigstellung der Gründungsplatte werden daher die obersten verdichteten Schichten und diese selbst wieder durchbohrt, um dem Sickerwasser, das sich noch darüber befindet, den freien Austritt in das Unterwasser zu ermöglichen. Der Arbeitsgang ist folgender:

Vor dem Betonieren der Gründungsplatte wird eine größere Anzahl Rohre in die oberste Felsschicht eingesetzt, die oben über die Gründungsplatte hinausragen. Sie werden in der Platte miteinbetoniert. Nach Fertigstellung der Gründungsplatte werden die Löcher mit Zementmilch ausgepreßt; nach dem Auspressen wird ein Teil der Löcher wieder aufgebohrt, um, wie erwähnt, den Auftrieb zu verhindern.

Die Herstellung des Dichtungsschleiers in den tieferen Schichten wird beschränkt auf den Streifen unter dem Fuß der Staumauer und unter der oberwasserseitigen Herdmauer.

In Bild 27 und 28 sind die beiden Arten von Einpressungen, ihre voraussichtliche Tiefe und der Abstand der Bohrlöcher dargestellt. Für die Einspritzarbeiten werden sechzehn Bohreinrichtungen eingesetzt; im allgemeinen werden die Löcher in Abständen von 3 bis 4 m gebohrt. Zwischen diesen Löchern werden dann zur Feststellung der Wirkung der ersten Einpressungen Prüflöcher angesetzt. Je nach dem geologischen Befund werden nicht nur senkrechte, sondern auch Schrägbohrungen vorgenommen. Das Abpressen für den Dichtungsschleier geschieht stufenweise von oben nach unten, und zwar in Stufen von etwa 5 m, wobei der Abpreßdruck mit zunehmender Tiefe gesteigert wird.

Die Betonierarbeiten

Das Mischungsverhältnis für den Beton beträgt im allgemeinen 300 kg Zement je m³ fertiger Betonmasse, zwei Teile Sand 0 bis 7 mm, ein Teil Splitt 7 bis 15 mm und drei Teile Schotter 15 bis 60 mm. Der plastisch eingebrachte Beton wird durch Innen- und Oberflächenrüttler verdichtet, wobei größtenteils in Deutschland gefertigte Rüttler verwendet werden. Besonders sei auf die Dehnungsfugen hingewiesen, die auf die ganze Länge der Nötzli-Mauer im Abstand von 12,50 m zwischen den Rundkopfpfeilern vorgesehen werden. Zum Abdichten der Fugen dienen Kupferbleche, Bild 29 und 30. Zur Herstellung einer sauberen Oberfläche des Betons wird mit Vorzug Stahlschalung angewendet. Die Stahlscha-

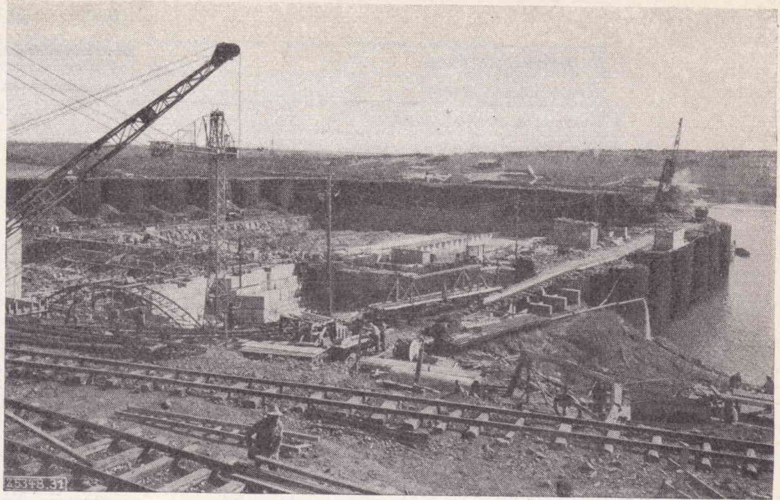


Bild 31. Baugrube *I*, Zustand Ende November 1938.
Links ein Turmdrehkran und eine fahrbare Betonierbrücke

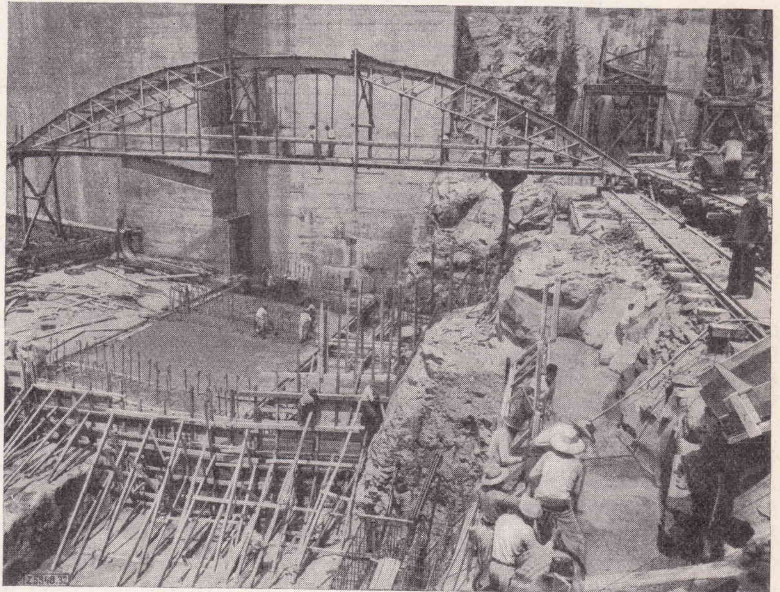


Bild 32. Betonierung der Turbinensohle mittels fahrbarer Betonierbrücke.



Bild 33. Bewehrung der Fundamente zweier Staumauerpfeiler.
Im Hintergrund die Brechanlage

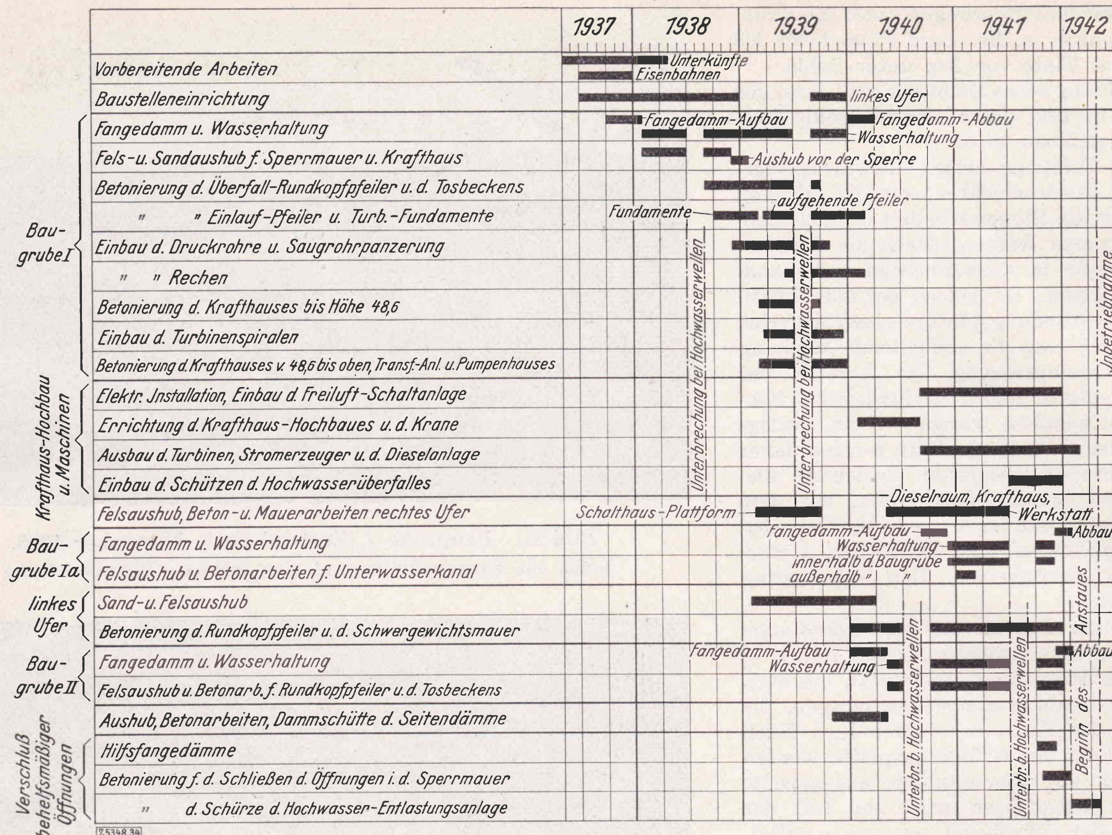


Bild 34. Bauprogramm für den Talsperrenbau im Rio Negro.

lung, die unter Ausnutzung der Erfahrung der Blaw-Knox-Gesellschaft aus Deutschland geliefert wurde, ist für die Herstellung der Pfeilerrippen, der Rundköpfe und des Hochwasserüberfalles vorgesehen.

Zur Förderung des Betons zur Baustelle dienen Plattformwagen mit je zwei 600 l fassenden Betonkübeln und Diesellokomotiven auf 900 mm-Spur-Gleis, wobei das Gleis z. T. auf den Fangedämmen verlegt wird, vgl. auch Bild 26. Das Einbringen des Betons an die Verwendungsstelle besorgen im wesentlichen Turmdrehkrane, von denen drei mit 20 und zwei mit 25 m Ausladung bemessen sind, Bild 31. Die Krane übernehmen die Kübel von den Plattformwagen und bringen mit ihnen den Beton unmittelbar in die Schalung ein. Für das Betonieren der Fundamente wird z. T. auch eine fahrbare Betonierbrücke verwendet, Bild 31 und 32. Auf dieser läuft ein Förderband, das den Beton in Einlauftrichter leitet, durch die er mittels Hosenrohren in die Grube eingebracht wird. Einen guten Überblick über die Bewehrung der Fundamentplatten für die Pfeiler der Staumauer gibt Bild 33.

Bauzeit und Baukosten

Das Bauwerk im Rio Negro, das etwa 260 000 m³ Beton umfaßt, soll in einer Zeit von 56 Monaten fertiggestellt sein, wobei für den betriebsfertigen Zusammenbau der Turbinen- und Stromerzeugeranlage allein 18 Monate vorgesehen sind. Nach dem Bauprogramm, Bild 34, entfallen auf die eigentliche Bauzeit für den rein baulichen Teil recht erhebliche Leistungen, zumal wenn man berücksichtigt, daß der Bau in einer abgelegenen Gegend errichtet wird, in der zunächst der Bahnanschluß hergestellt, die Ansiedlung der Arbeiter durchgeführt und eine Reihe sonstiger Vorarbeiten vorgenommen werden mußten. Unter diesen Gesichtspunkten betrachtet, ist die Bauzeit als kurz zu bezeichnen.

Bei dem Auftrag entfallen recht erhebliche Leistungen auf die deutsche Wirtschaft. Nahezu die gesamten Baugeräte im Werte von über 5 Millionen ℛℳ sind aus Deutschland beschafft worden. Die maschinelle und elektrische Ausrüstung der Gesamtanlage fällt ausschließlich den großen deutschen Elektrizitäts- und Turbinenfirmen zu. Auch die Rohrleitungen, das Stahlskelett für das Krafthaus, die Hochwasser-Entlastungsanlagen und alle übrigen Betriebseinrichtungen werden von der deutschen Industrie geliefert.

Der Bauwert der ganzen Anlage beträgt etwa 65 Millionen ℛℳ. Er fällt zu einem erheblichen Teil in fremder Währung an und ist in dieser Beziehung noch als besonderer Erfolg zu werten. B 5348

Preisausschreiben
für Lebensbeschreibungen von Ingenieuren

Die Siemens-Ring-Stiftung hat im vergangenen Jahre ein Preisausschreiben für die beste Lebensbeschreibung eines verstorbenen deutschstämmigen Ingenieurs erlassen. Das Preisausschreiben erstreckt sich über drei Jahre; in jedem Jahr wird ein Preis von 1000 ℛℳ vergeben[1]).

[1]) Vgl. Z. VDI Bd. 82 (1938) S. 142.

Die Preisarbeiten des Jahres 1939 müssen bis zum 1. September 1939 bei der Geschäftstelle der Siemens-Ring-Stiftung, Berlin NW 7, Ingenieurhaus, eingereicht werden. Von dort sind auch alle näheren Bedingungen zu erfahren. Jeder Deutschstämmige kann sich an diesem Preisausschreiben beteiligen. N 5461

cke
Dorfu Str. 3
2 BlaususBeDia







ma 171219-21
Briefzentrum 06

ma 171219-21
Briefzentrum 06

ma 171219-21
Briefzentrum 06

ma 171219-21
Briefzentrum 06

ma 171219-21
Briefzentrum 06

Bitte nicht knicken
Danke



Pablo Thomasset
Ricon del Bonete
Paso de los Toros
45 100 Paso de los Toros
Uruguay